PHILIPS

⑥

radar



WIJ EN DE ELEKTRONICA

RADAR

Dank zij zijn zintuigen is de mens in staat de aanwezigheid en de plaats van voorwerpen om hem heen vast te stellen. Met het verkennen van de omgeving wordt in het eerste levensjaar een begin gemaakt. Reeds spoedig heeft de baby onbewust geleerd om, wat met oog en oor waargenomen wordt, in verband te brengen met de ervaringen opgedaan met het tastzintuig. De baby is zich bewust geworden van zijn omgeving.

De tastzin geeft een nauwkeurige indruk van de vorm en de plaats van de bereikbare voorwerpen. Het gehoor vervolgens, stelt ons vrij goed in staat de *richting* waarin geluidsbronnen zich bevinden, vast te stellen. Veel moeilijker is het de *afstand* van zo'n geluidsbron met het gehoor waar te nemen. Het geluidsbeeld dat van de omgeving verkregen kan worden, is daardoor zeer onvolledig. Het is echter welbekend dat bij blinden het gehoorzintuig heel sterk ontwikkeld is en dat zij daarmede zeer veel kunnen bereiken. Het nauwkeurigst kan men echter zijn omgeving met het gezichtszintuig verkennen. Daar licht zich rechtlijnig voortplant, is de richting, waarin de voorwerpen zich bevinden, direct vast te stellen. In vele gevallen geldt dit ook voor hun *afstand*; dank zij het verschilzicht bij het zien met twee ogen kan tot ca 10 m een afstandsindruk verkregen worden en op grotere afstanden helpen het perspectief en enkele andere verschijnselen daarbij mee.

Voor het dagelijks leven zijn deze waarnemingen met onze zintuigen van richting en afstand, dus van plaats in de omgeving, voldoende nauwkeurig. Maar er zijn omstandigheden waarbij de mens het niet zonder hulpmiddelen kan doen. Zo is het nut van het gezichtszintuig nihil bij volledige duisternis of bij zware mist.



Fig. 1. Radar komt in de natuur ook voor . . . bij de vleermuis

← *Zowel in het vliegtuig als op de luchthaven wordt gebruik gemaakt van radar*

De brulboei en de misthoorn zijn dan maar heel povere akoestische hulpmiddelen. Bij het veelvuldig gebruik van snelle verkeersmiddelen — schip en vliegtuig — is het ook bij goed zicht noodzakelijk de afstand van bv. obstakels veel nauwkeuriger te kennen dan met het oog mogelijk is. En zo heeft het menselijk vernuft nieuwe instrumenten ontwikkeld ter verhoging vooral van de veiligheid bij de navigatie: akoestische en radio-hulpmiddelen, beiden gebruikmakend van elektronische principes. We moeten daarbij echter bedenken, dat hoe vernuftig deze ook mogen zijn, de mens daarbij slechts navolger is van een principe dat in de natuur reeds lang en in nog betere vorm voorkomt, nl.... bij de vleermuis!

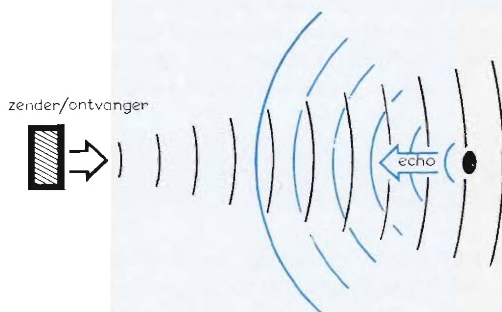


Fig. 2. Hoe een echo ontstaat

Bij de elektronische toestellen worden golven uitgezonden door een zender: geluidsgolven dan wel radiogolven. Treffen deze op hun weg een voorwerp, dan zal dit een deel van de golven in alle richtingen verstrooien, zodat tenslotte een heel klein deel van de oorspronkelijke golfenergie naar de zender wordt teruggekaatst en daar als een „echo" kan worden ontvangen (fig. 2).
De heen- en teruggang kost natuurlijk tijd en wel des te meer naarmate de afstand tot het obstakel groter is. Als men nu deze tijd meten kan, is met de bekende voortplantingssnelheid van de golven de afstand te berekenen. Het principe is heel eenvoudig. De *looptijd* van de golf kan tegenwoordig elektronisch, snel en nauwkeurig worden bepaald. De grootste moeilijkheid is echter de geringe hoeveelheid energie die na reflectie bij de ontvanger terugkeert.
Ook de richting waarin het obstakel zich bevindt, kan men bepalen, bv. door toepassing van het *stereofonische principe.* Men vangt de teruggekaatste golven op met twee ontvangers die op een zekere afstand van elkaar staan. Men denke hierbij aan het horen met twee oren. De teruggekaatste golf be-

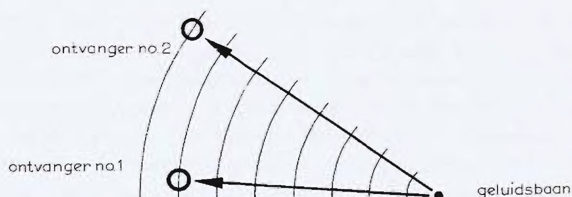


Fig. 3. Richtingsbepaling volgens het stereofonische principe

reikt de twee ontvangers in de regel niet op hetzelfde moment (fig. 3). Uit het verschil in ontvangtijdstip is de richting van het obstakel te bepalen. Afstand en richting zijn nu bekend en dus de plaats in de omgeving.
Gebruikt men voor dit doel radiogolven, dan spreekt men van *radar* (*ra*dio *d*etection *a*nd *r*anging); worden geluidsgolven gebruikt, dan van *sonar* (*so*u*n*d detection *a*nd *r*anging). Alvorens deze technieken nader te bespreken, zullen eerst enkele eenvoudige principes beschreven worden.

Echo's

Wanneer men geluid voortbrengt, ontstaan er geluidsgolven die zich, met de geluidsbron als middelpunt, voortplanten in alle richtingen.
Wordt een obstakel getroffen, dan treedt dit als het ware als geluidsbron op. Als het obstakel een gunstige vorm heeft, bv. een gebogen muur, bosrand of berghelling, wordt een duidelijke *echo* waargenomen. Met de geluidssnelheid van 340 m/s kan uit de tijd t in seconden tussen zenden en ontvangen, de afstand a in m tot het obstakel worden berekend met de formule $a = \frac{1}{2} \times 340 \times t$. Voor een nauwkeurige tijdsbepaling is het gewenst scherp begrensde geluidsstoten, bv. knallen of korte felle kreten te gebruiken. Men spreekt hier van *pulsen*.

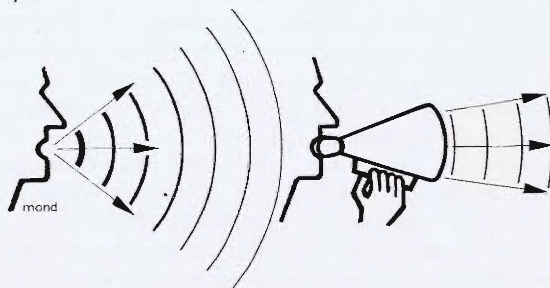


Fig. 4. Bundeling van geluidsgolven

Daar geluid zich in alle richtingen verspreidt, wordt er maar zeer weinig van de uitgezonden energie nuttig gebruikt. Door bundeling met bv. een scheepsroeper kan met minder energie een veel grotere afstand worden overbrugd (fig. 4). Een bekend voorbeeld is een zg. echoput, waarbij men met zeer weinig geluidsenergie een duidelijke echo krijgt die het mogelijk maakt de diepte ervan te bepalen.
Op deze wijze kunnen geluidstrillingen ons dus helpen afstanden te meten en omdat wij met twee oren horen, is het ook mogelijk de richting van het obstakel vast te stellen.
Een blinde, die met zijn stok al lopende op de straatstenen tikt (pulsen!), hoort een bepaald klankbeeld, waarin een groot aantal zwakke echo's voorkomt, veroorzaakt door de verschillende objecten in de nabije omgeving. Hierdoor kan hij zich onbewust vrij goed oriënteren.

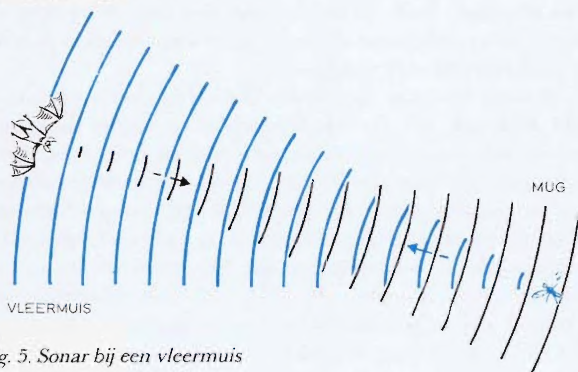


Fig. 5. Sonar bij een vleermuis

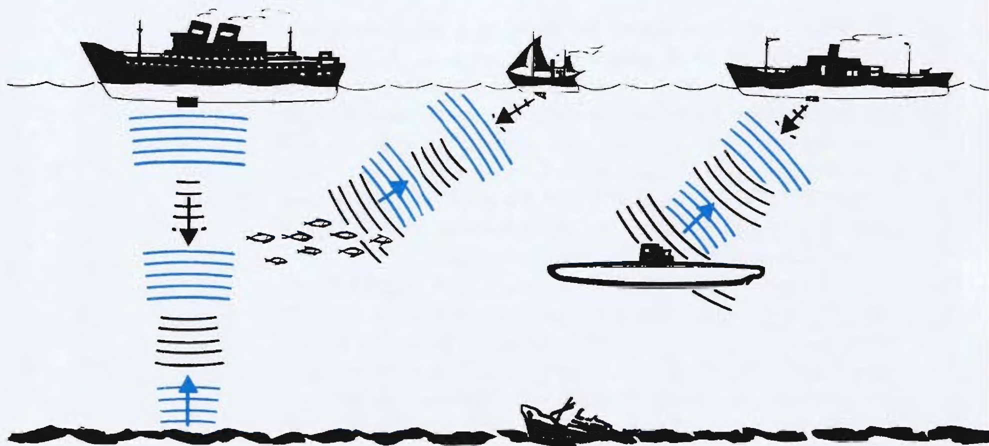
Misschien wel het mooiste voorbeeld van het gebruik van echo's vinden we in de natuur bij de *vleermuis*. Al vliegende stoot deze ca vijf maal per seconde ultrasone geluidspulsen uit die ongeveer 1/500 sec duren. Is een prooi nabij, dan gebeurt dit zelfs tot 100 maal per seconde. Deze kreten zijn voor de mens onhoorbaar; de frequentie varieert van ongeveer 100.000 Hz tot ca 50.000 Hz. De luidheid ervan is zeer groot. De gevoeligheid van het gehoorzintuig van het diertje wordt daarom gedurende het zenden verzwakt.
Deze scherpe kreten worden in een brede bundel in de vliegrichting uitgezonden. Eventuele echo's worden stereofonisch waargenomen (fig. 5). Door de hoge frequentie van het geluid kunnen zelfs kleine voorwerpen, zoals muggen, door de vleermuis in volslagen duisternis worden gelocaliseerd. Geluid met een lage frequentie, dus met langere golven, zou

er zonder reflectie omheen spoelen. In het algemeen nl. geven voorwerpen die tenminste 1/10 golflengte groot zijn, nog een echo. Met geluid van 60.000 Hz, overeenkomend met een golflengte van $^1/_2$ cm, kunnen voorwerpjes met een diameter van $^1/_2$ mm dus nog opgespoord worden. Een dergelijk resultaat heeft de mens nog niet kunnen evenaren, zeker niet met een apparaat dat — zoals bij de vleermuis — nog geen gram weegt!

Praktische toepassingen van geluidsecho

Onder water wordt voor de plaatsbepaling van obstakels geluid toegepast. In de lucht kan men, om later te noemen redenen, beter radiogolven gebruiken. In water kunnen zich deze golven echter niet voortplanten.
Zo bepaalt men aan boord van een schip de diepte van de zeebodem met behulp van een *echolood*. Onder de bodem van het schip is de zender aangebracht en deze stuurt loodrecht naar beneden een bundel uit van ultrasone geluidsgolven met een frequentie van ca. 50.000 Hz. Het gereflecteerde geluid wordt opgevangen, waarna de looptijd elektronisch bepaald wordt. De zeediepte kan dan berekend worden met de geluidssnelheid in water, die 1400 à 1500 m/s bedraagt, afhankelijk van de temperatuur en het zoutgehalte. Hier wordt dus alleen een afstand bepaald.
Ook scholen vissen reflecteren dit geluid. Wil men deze op-

Fig. 6. Gebruik van sonar op zee



sporen, dan moet men behalve de afstand ook de richting vaststellen. Men maakt dan gebruik van een draaibare sonarzender die een scherp gerichte bundel uitzendt. De zender wordt nu langzaam gedraaid, waarbij voor elke richting ook de sterkte van de echo bepaald wordt. De richting waarin de sterkste echo optreedt, is dan de richting waarin de school zich bevindt. Deze methode wordt ook toegepast om ondergedoken onderzeeërs of scheepswrakken op te sporen (fig. 6).
Dit principe van richting-bepalen door aftasten van de omgeving met een gerichte bundel in plaats van de stereofonische methode met twee gescheiden ontvangers — zoals bij de vleermuis — vindt ook bij de radar toepassing.
In de lucht is geluid als aftastmiddel minder geschikt omdat de geluidsenergie daarin zo sterk wordt geabsorbeerd, dat de reikwijdte van een dergelijk apparaat voor de mens te gering is. Belangrijker is het bezwaar dat geluid zich in de lucht te langzaam voortplant (ca 340 m/s), zodat men voor het localiseren van een obstakel op 3 km afstand ca 20 s op de echo moet wachten. Een gehele „rondpeiling" in 360 richtingen, telkens na één graad draaiing, zou niet minder dan twee uur in beslag nemen!

De licht-echo-methode

De vraag is of i.p.v. geluidspulsen, niet van lichtpulsen gebruik gemaakt kan worden. De lichtsnelheid bedraagt 300.000 km/s, zodat voor het peilen van een afstand van 3 km slechts 1/50.000 s nodig zal zijn, en voor een rondpeiling

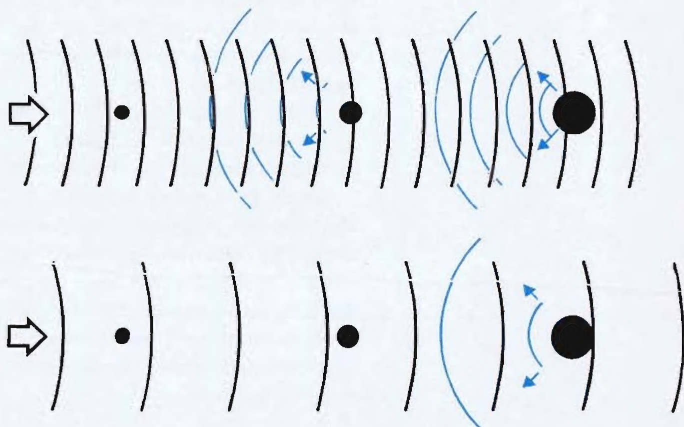


Fig. 7. Verstrooiing treedt alleen op door deeltjes die groot zijn vergeleken met de golflengte



Fig. 8. Te korte golven dringen niet door de mist heen

slechts 1/150 s. Bij licht is het meten van dergelijke korte tijden echter zeer moeilijk. Wel kan men tegenwoordig met lichtpulsen verkregen met een *laser* de afstand tot de maan bepalen. Maar de tijdsduur tussen het uitzenden van de puls en de terugkeer van de lichtecho, bedraagt dan ook ca $2\frac{1}{2}$ s. Het grootste bezwaar van licht is echter dat het niet door de mist heen komt. Voor de navigatie onder slechte weersomstandigheden kan deze methode dus geen hulpmiddel zijn. Waarom gaat nu eigenlijk licht niet door mist heen? Licht bestaat uit elektromagnetische golven („ethertrillingen") met de zeer kleine golflengte van ca 1 μm (=0,001 mm). Zelfs de kleinste stofjes en mistdruppeltjes zijn groot ten opzichte van de golflengte van het opvallende licht (fig. 7). Het gevolg is, zoals we op blz. 3 zagen, dat elk druppeltje als obstakel gaat optreden: het opvallende licht wordt in alle richtingen verstrooid en de lichtzender ontvangt een echo! Schijn maar eens met een zaklantaarn op een mistbank! Met de lichtecho-methode kan men dus wèl de afstand van de mistbank bepalen, maar niet van wat daar achter zit. En daar schuilt nu juist het gevaar! (fig. 8). Veel meer dan wat „met eigen ogen" gezien kan worden, geeft dit dus niet.

Het zal nu echter duidelijk zijn dat wel resultaten te bereiken zijn, indien men elektromagnetische golven gebruikt waarvan de golflengte:

1. langer is dan de storende deeltjes in de lucht, zodat de golven ongehinderd doorgaan;
2. korter is dan de op te sporen voorwerpen, zodat deze wel als obstakel zullen optreden.

Dat zijn dus golflengten van enkele mm tot enkele dm toe. Dergelijke elektromagnetische golven heten nu... radiogolven, zij het van zeer hoge frequentie. De golflengte is kleiner dan van de voor televisie gebruikte metergolven, de frequentie nog hoger. Met hun eigenschappen van voortplanting en terugkaatsing, zoals besproken in deel 3, zijn we echter al vertrouwd.

Radar

Radar maakt dus gebruik van dm- en cm-golven, de zg. radargolven. Zij worden met elektronische middelen opgewekt en verwerkt, maar gedragen zich — o.m. wat de rechtlijnige voortplanting en de reflectie betreft — als lichtstralen. Een radarinstallatie bestaat in hoofdzaak uit drie gedeelten: de zender, het antennesysteem en de ontvanger met indicator. Het tijdsverloop tussen zenden en ontvangen meet men elektronisch met de indicator, die o.m. een elektronenstraalbuis bevat.

De zender

Zoals elke radiozender bevat ook deze in principe een elektrische trillingskring; hierin wordt de ultrahoge frequentie van ca 10.000.000.000 Hz = 10.000 MHz opgewekt. De voor het trillen benodigde energie wordt in hetzelfde tempo periodiek toegevoerd door een elektronenbuis (zie deel 1 blz. 8). Daar slechts een zeer klein deel van de energie als echo terug komt, moet de zender een zeer groot vermogen hebben. Radar is eerst mogelijk geworden door de uitvinding van een heel speciale elektronenbuis, in staat dergelijke ultrahoge frequenties met voldoende energie op te wekken: het zg. *magnetron*. Hoe zo'n magnetron werkt, kan hier niet uiteengezet worden.

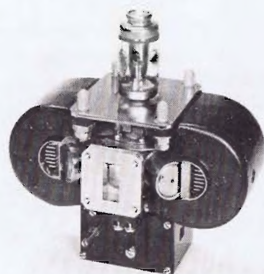


Fig. 9. Een magnetron

Het antennesysteem

Merkwaardig is hoe men de opgewekte trilling van het magnetron naar de zendantenne brengt: niet door draden doch door holle metalen pijpen. Een doorsnede hiervan is in het midden van fig. 9 te zien. De eigenlijke antenne wordt gevormd door het trechtervormige uiteinde van de golfpijp. Uit die trechter komen dan pulsen van zeer hoogfrequente radargolven. Elke puls duurt ca 1 μs (0,000.001 s); per seconde worden ongeveer 1000 pulsen uitgezonden. Tijdens zo'n puls is het zendvermogen wel 1000 kW, doch zoals gezegd, gedurende het grootste deel van de tijd wordt niets uitgezonden; dan wordt naar de echo geluisterd. Gemiddeld valt dat vermogen dus wel mee.

Het radarbeeldscherm op Schiphol (links op de voorgrond)



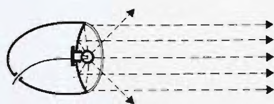
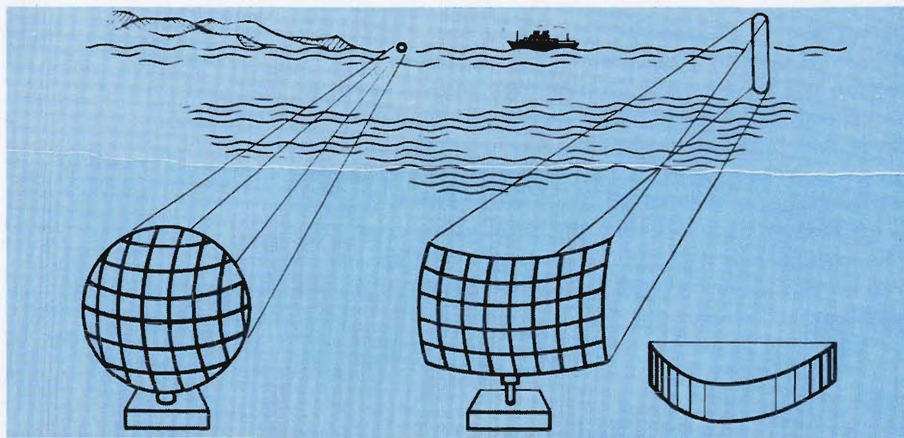


Fig. 10. Een fietslantaarn geeft een evenwijdige lichtbundel

Om de uitgezonden radargolf in één richting te bundelen, richt men de zendtrechter op een grote holle spiegel. De trechter staat in het brandpunt van deze spiegel, zodat een evenwijdige bundel uittreedt. Vaak is die spiegel van metaalplaat, soms ook van metaalgaas — maar de golven mogen er natuurlijk niet dòòrheen. Dat is nu het geval als de grootte van de mazen veel kleiner is dan de golflengte; dus tenminste kippengaas voor metergolven en vliegengaas voor cm-golven!

Hoe groter de diameter van de spiegel, hoe nauwer de gereflecteerde bundel op grote afstand blijft; diameters van enkele meters zijn normaal. Gebruikt men een ronde parabolische spiegel, dan ontstaat een radarbundel met cirkelvormige doorsnede. Deze bestrijkt dan een klein rond gebiedje aan de horizon (fig. 11). Dit kan bezwaren hebben aan boord van schepen in verband met de deining en zeegang. Om niet telkens over of onder het doel heen te kijken, is hier een bundel

Fig. 11. Bundeling door radarspiegels



nodig die veel hoger dan breed is. Dit wordt verkregen met een gebogen spiegel die breder is dan hoog; soms heeft zo'n spiegel de vorm van een halve kaas.
Om met de radarinstallatie de gehele omgeving af te kunnen zoeken, is de antenne draaiend op een hoog punt opgesteld. Aangedreven door een elektromotor maakt de antenne 20 tot 60 omwentelingen per minuut. De radarbundel zwaait dus net als het licht van een vuurtoren over de omgeving. Dank zij de grote voortplantingssnelheid van radiogolven (300 000.000 m/s) is de door een obstakel veroorzaakte echo al weer op de antenne aangekomen vóór deze merkbaar verder is gedraaid. Van een voorwerp op een afstand van 3 km komt de echo na 1/50.000 s terug; afgelegde afstand heen en terug is dan n.l. 6 km. In die tijd heeft een radarantenne, die bv. 30 maal per minuut ronddraait, slechts 1/100.000 omwenteling gemaakt!
Ontstellend klein is het deel van de energie dat als echo terugkomt: ongeveer het 0,000.000.000.000.001e deel! Hier kunnen we weer een vergelijking maken met licht: een fietslantaarn, de combinatie van een gebogen spiegel en een gloeilampje, geeft een smalle, bijna evenwijdige bundel licht. Het naar achter stralende licht wordt door de reflector naar voren teruggekaatst (fig. 10). Zo vormt ook een radarspiegel een evenwijdige bundel van de uitgezonden golf.

Ontvanger en indicator

De zendantenne wordt ook gebruikt als ontvangantenne. Daartoe wordt na het uitzenden van de puls de antenne langs elektronische weg snel omgeschakeld op de ontvanger en bij een nieuwe puls weer op de zender (fig. 12). Het ontvangen signaal wordt gelijkgericht, versterkt en daarna toegevoerd aan een elektronenstraalbuis met een groot rond scherm, die als indicator dienst doet.
Het bepalen van de looptijd van de heen- en teruggaande golf gaat als volgt in het werk. Op het scherm van de elektronenstraalbuis laat men het lichtpunt met gelijkmatige snelheid een horizontale lijn beschrijven. Hoe zo'n *tijdbasislijn* verkregen wordt, is in deel 4 op bladzijde 11 beschreven. Met deze beweging begint de stip telkens opnieuw bij elke puls van de zender, ca 1000 keer per seconde. Voor deze *synchronisatie* is een verbinding nodig tussen zender en indicator.
De gereflecteerde signalen kunnen op het elektrodensysteem voor de verticale afbuiging worden gezet. Op de tijdbasislijn

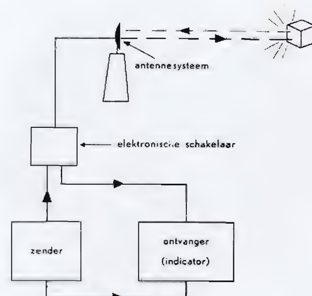


Fig. 12. Schema van een radarinstallatie

Fig. 13. Het schip S en het havenhoofd D geven radar-echo's

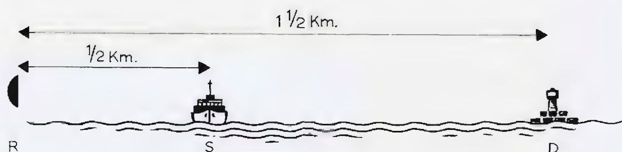




Fig. 14. Elke echo geeft in het radarbeeld een piekje



Fig. 15. In dit radarbeeld geeft elke echo een licht vlekje



Fig. 16. Het complete radarbeeld

verschijnt dan een piekje voor elke binnenkomende echo; hoe later de echo arriveert, hoe verder naar rechts dit piekje komt te liggen. De horizontale afstand van deze hobbel tot het beginpunt van de tijdbasislijn is een maat voor de looptijd van de echo, dus van de afstand van het reflecterende voorwerp. Op een geijkte schaalverdeling kan deze afstand worden afgelezen.

In fig. 13 zullen het schip *S* en de havendam *D*, vanaf de radarspiegel *R* in dezelfde richting gezien, elk een echo geven, die na elkaar binnenkomen. Op het scherm is af te lezen (fig. 14), dat de echo van *D* 3× zolang onderweg geweest is als die van *S*; voor de afstand van *S* leest men af 0,5 km en die van *D* 1,5 km.

Een andere methode biedt veel fraaiere mogelijkheden. Op de wehneltcilinder van de elektronenstraalbuis wordt een zodanige spanning gezet, dat de lichtstip juist onderdrukt is. De ontvanger sluit men nu niet op het verticale afbuigsysteem, doch eveneens op de wehneltcilinder aan en wel zo, dat de lichtstip door het echosignaal weer even zichtbaar wordt. In plaats van piekjes op een lichtende lijn verschijnen nu lichtpuntjes en wel op dezelfde plaats als anders de piekjes (fig. 15). De afstand tot het midden van het scherm geeft ook nu weer de werkelijke afstand van *S* en van *D* aan.

Het is thans in principe een eenvoudige zaak om op het scherm een afbeelding van de gehele omgeving te doen ontstaan. Men laat daartoe de radarspiegel om een verticale as draaien, zodat de gehele omgeving richting voor richting afgetast kan worden. Tevens laat men de tijdbasislijn op het radarscherm met dezelfde snelheid ronddraaien waarbij het nulpunt op zijn plaats blijft. Dit wordt bereikt door het gehele afbuigsysteem van de elektronenstraalbuis rond de as van de buis te laten draaien. Het is echter ook mogelijk zo'n draaiing langs elektronische weg te verkrijgen.

Is de radarspiegel naar het noorden gericht, dan loopt de tijdbasislijn op het scherm vanuit het midden naar boven; draait de spiegel van noord naar west, dan draait ook de tijdbasislijn over een hoek van 90° naar rechts, enz. Voor elke kompasrichting wordt nu op het scherm de plaats van de echoverwekkende voorwerpen met licht ingetekend en zo ontstaat

dus een kaart van de omgeving met de radarspiegel in het midden. Elk voorwerp wordt met de juiste grootte op de juiste afstand afgebeeld. Er ontstaat dus geen perspectivisch panoramabeeld van de omgeving, zoals die zich aan het menselijk oog voordoet. Fig. 16 toont het radarbeeld verkregen vanaf het radarstation Hoek van Holland. Hierin is ingetekend een bundel vanuit de plaats van de radarinstallatie in zuidelijke richting. Deze strijkt over het schip *S* en het havenhoofd *D* (zie fig. 13).
Het complete radarbeeld wordt dus lijn voor lijn opgebouwd. Deze lijnen lopen hier radieel van uit het midden van het scherm en niet horizontaal, zoals bij de televisie. Voor de opbouw van zo'n beeld is, indien de spiegel 30 keer per minuut ronddraait, 2 seconden nodig. Een hogere snelheid kan met de grote spiegel moeilijk bereikt worden. Daar deze tijd vele malen groter is dan de nawerkingstijd van het oog (1/20 s, zie deel 4 blz. 4), gebruikt men als fluorescerend materiaal op het scherm een stof die gedurende ca. twee seconden nalicht. Men ziet dan op elk ogenblik toch een volledig radarbeeld.

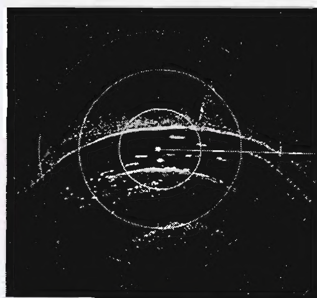


Fig. 17. Radarbeeld van de haven van IJmuiden

Toepassingen

Bij de toepassingen van radar kunnen we onderscheid maken tussen vast opgestelde stations en mobiele stations.
Tot de vast opgestelde stations kunnen we o.a. rekenen de installaties op vliegvelden waarmee vliegtuigen worden „binnengepraat" (zie fig. op blz. 10) en de *luchtwachtradar* waarmee naderende vliegtuigen of raketten op zeer grote afstand worden gesignaleerd. Van dit soort installaties heeft men voor het eerst in de oorlog 1939-1945 gebruik gemaakt. Een andere toepassing is de *havenradar*, waarbij havens (IJmuiden) en waterwegen (de Nieuwe Waterweg) door een of meer radarstations worden bestreken (fig. 17). Deze maken het mogelijk schepen die niet zelf over een radarinstallatie voor kleine afstanden beschikken, via radiotelefonisch doorgegeven bevelen bij mist veilig door te laten stomen.
Een zeer speciale toepassing is de *slecht-weer-radar*, waarmee zware buien reeds op zeer grote afstand kunnen worden gesignaleerd.
In dergelijke buienwolken komen vrij grote regendruppels en ook hagelstenen voor. Indien men nu werkt met een voldoend korte golflengte, kunnen deze wolken radarreflecties geven. De „onbelangrijke" normale wolken, die veel kleinere

Fig. 18. Het antenne systeem van de lange afstandradar op Schiphol



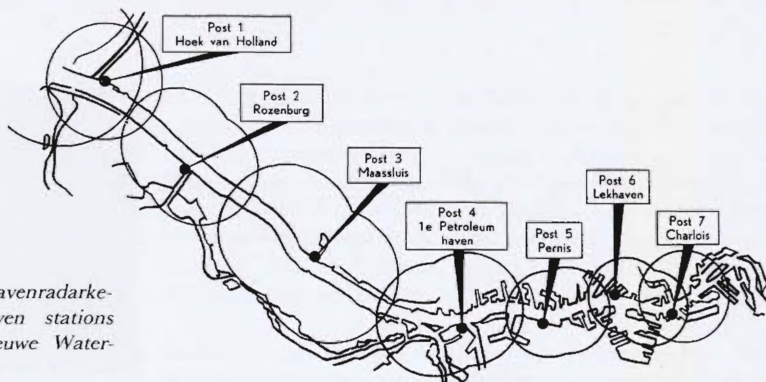


Fig. 19. De havenradarketen met zeven stations langs de Nieuwe Waterweg

waterdruppels bevatten, worden dan niet aangetoond.
Ook de beweging van raketten kan met behulp van radar nauwkeurig worden gevolgd, zodat zonodig van de aarde af de baan langs radiografische weg kan worden gecorrigeerd, indien deze afwijkt van de gewenste. Met succes heeft men dit kunnen toepassen met ruimtevoertuigen op weg naar de maan, Venus en Mars; afstanden van bijna 100 miljoen km zijn daarbij overbrugd!
Een astronomische toepassing is ook het meten van de afstand tot de nabije hemellichamen: de maan en ook van Venus! Verder leent radar zich ook — zelfs overdag — voor het onderzoek van *meteoren*. Deze veroorzaken bij het binnendringen in de aardatmosfeer niet alleen een lichtflits (vallende ster), doch het spoor dat zij achterlaten, blijkt een radarecho te kunnen veroorzaken. Verwonderlijk is dit niet, want zo'n spoor bevat tal van elektrisch geladen deeltjes. Ook de korte radiogolven worden immers gereflecteerd op elektrisch geladen lagen hoog in de aardatmosfeer (zie deel 3 blz. 11).
Mobiele radar vinden we o.a. op schepen als navigatiemiddel bij slecht zicht en in oorlogstijd voor het opsporen van vijandelijke vaar- en vliegtuigen. Ook vliegtuigen zelf zijn tegenwoordig dikwijls voorzien van radarinstallaties. Een geheel andere toepassing van radar is de politieradar, waarbij b.v. met zeer korte tussenpozen de afstand van naderende auto's

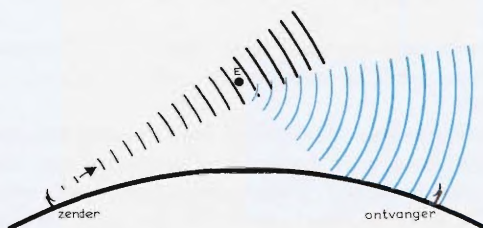


Fig. 20. Kunstmanen worden gebruikt voor het overbrengen van signalen over grote afstand

wordt gemeten, zodat men in staat is na te gaan of de maximumsnelheid is overschreden.
Hoewel dit eigenlijk geen radar is, wordt het principe daarvan (reflectie van radiogolven) thans ook toegepast voor het overbrengen van televisiebeelden over zeer grote afstanden. De voor televisie gebruikte metergolven planten zich rechtlijnig voort en kunnen niet „achter" de horizon worden ontvangen (zie deeltje Televisie). In 1960 heeft men nu de kunstmaan *Echo* gelanceerd, een grote gemetalliseerde ballon, die de daarop gerichte radiogolven verstrooit en ten dele naar de aarde reflecteert. Door de grote hoogte waarop de kunstmaan rond de aarde beweegt, is de hiermee overbrugde afstand vele duizenden kilometers geworden. Voorwaarde daarbij is, dat de kunstmaan zich zowel voor de zender als de ontvanger boven de horizon bevindt. In de nieuwere kunstmanen *„Telstar", „Early bird", „Syncom"*, enz. worden de toegezonden signalen door een ingebouwde versterker versterkt en weer uitgezonden. De kwaliteit van de ontvangen beelden en gesprekken is daardoor aanmerkelijk beter dan bij de Echo.
Later, als de mens zich nog verder in de wereldruimte gaat bewegen, zal radar als hulpmiddel bij de navigatie onmisbaar zijn. Reeds nu echter heeft deze toepassing van de elektronica op de aarde zeer belangrijke bijdragen geleverd voor de verhoging van de veiligheid van de mens.

Woorden en begrippen

PHILIPS NEDERLAND N.V. – EINDHOVEN
AFD. ONDERWIJSVOORLICHTING